

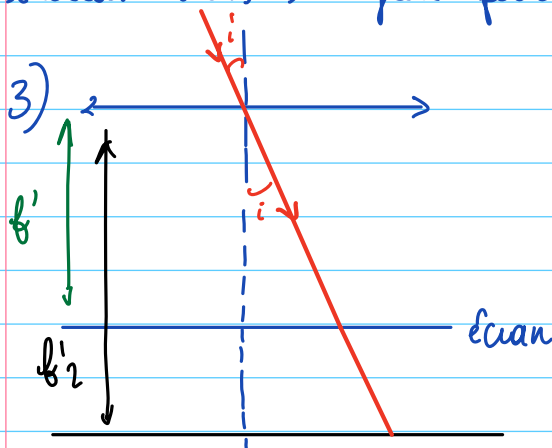
TD03

SF1

1) Si on observe des anneaux, cela prouve que le Michelson est réglé en lame d'air. Les deux miroirs sont donc perpendiculaires (ou parallèles au le schéma équivalent).

Les deux points sources secondaires sont les images de la source par la séparatrice et chacun des miroirs. Ils sont séparés de $2e$ où e est l'épaisseur de la lame d'air.

2) Les interférences sont localisées à l'infini. Il faut donc placer l'écran dans le plan focal de la lentille.



Plus la focale est grande, plus les anneaux paraissent grands.

Il faut donc choisir $f' = 100 \text{ cm}$

4) Si la tinte est uniforme, on est au contact optique. Donc $e = 0$.
En traduisant le miroir de $5 \mu\text{m}$, on arrive à la situation $e = 5 \mu\text{m}$.

On a par ailleurs $\delta = 2e \cos i$
d'anneau de plus petit rayon est celui pour lequel i est le plus petit et
 $2e \cos i = k\lambda$ $k \in \mathbb{Z}$.

$$\text{On } \underline{2e \times \cos 0} = 16,7$$

La fonction \cos étant décroissante, l'ordre en k le plus proche atteint si on augmente l'angle est 16

$$\begin{aligned} 5) \text{ On a } p(1^{\text{er}} \text{ anneau}) &= 16 \\ p(2^{\text{e}} \text{ anneau}) &= 15 \\ p(3^{\text{e}} \text{ anneau}) &= 14 \end{aligned}$$

$$\text{Par ailleurs, on a } \lambda e \cos i = p \lambda = \lambda e \left(1 - \frac{i^2}{2}\right)$$

$$\text{et } R_p = f' \tan i = f' i = f' \sqrt{2 - \frac{\lambda}{e}}$$

$$\text{Donc } R_{16} = 28 \text{ cm} \quad R_{15} = 45 \text{ cm} \quad R_{14} = 57 \text{ cm}$$

SF2

1) En coin d'air, les interférences sont localisées sur les miroirs. Il faut donc pouvoir projeter le plan des miroirs sur l'écran situé à $D = 1,80 \text{ m}$ des miroirs.

On sait que pour pouvoir projeter, il faut $D > 4f'$

$$\text{Donc } f' < \frac{D}{4} = \underline{45 \text{ cm}}$$

2) On veut $|\gamma| = 10$ et $\gamma = -10$ (l'image est toujours renversée dans cette configuration)

$$\text{or } \gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

$$\text{et } \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad \text{donc } \frac{1}{\gamma \overline{OA}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

$$\text{ie } \frac{1-\gamma}{\gamma \overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad \text{ie } f' = \frac{\gamma}{1-\gamma} \overline{OA}$$

$$\text{or } D = \overline{AA'} = \overline{OA'} - \overline{OA} = (\gamma-1)\overline{OA} \quad \text{ie } \overline{OA} = \frac{D}{\gamma-1}$$

$$\text{Au final } \boxed{f' = \frac{-\gamma}{(\gamma-1)^2} D} = \frac{10}{112} \times 1,80 = 14,9 \text{ cm} \simeq \underline{15 \text{ cm}}$$

3) Ayant $\delta = 2\alpha x$, on a $\delta(n) = E_0 \left(1 + \cos \left(2\pi \frac{2\alpha x}{\lambda} \right) \right)$

$$\text{Donc } i = \frac{\lambda}{2\alpha}$$

α d'interfrange mesuré est $10 \times i$

$$\text{Donc } \alpha = \frac{\lambda}{2 \times 10 \times i} = \underline{3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}}$$

Exercice 3 - Principe de la spectrométrie interférentielle

1) En lame d'air, $\delta(i) = 2e \cos i$. Au niveau du photorécepteur, $i = 0$
Donc $\delta = 2e$.

Ici, $e(t) = v_0 t$. Donc $\delta = 2v_0 t$

2) a) On a $u(t) = \alpha \mathcal{E}(t)$ et $\mathcal{E}(t)$ est l'éclairement au niveau du photorécepteur.

on $\mathcal{E}(t) = E_0 \left(1 + \cos \left(2\pi \frac{\delta}{\lambda_0} \right) \right)$

Donc $u(t) = \alpha E_0 \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi v_0 t}{\lambda_0} \right) \right)$. Posons $U_0 = \alpha E_0$ et on a l'expression de l'échance'.

b) On a vu N franges, donc à $t = t_1 = 57,7 \text{ ns}$, on a

$$\delta(t_1) = N \lambda_0 \quad (\text{car } e(0) = 0)$$

On a donc $2v_0 t_1 = N \lambda_0$ et $v_0 = \frac{N \lambda_0}{2t_1} = 0,55 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

On a par ailleurs $\frac{\Delta v_0}{v_0} = \sqrt{\left(\frac{\Delta N}{N}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \lambda_0}{\lambda_0}\right)^2} = 0,01 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Donc $v_0 = 0,55 \pm 0,01 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

3) a) La source n'est pas strictement monochromatique.

b) L'élargissement spectral Δf est lié au temps de cohérence τ_c (aussi durée des trains à bande) : $\Delta f = 1/\tau_c$

En longueur d'onde, on a $\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{c \tau_c}$

Par ailleurs, on a la longueur de cohérence $l_c = c \tau_c$

$$\text{Ainsi } \Delta l = \frac{\Delta v^2}{\alpha_c} \quad \text{re } \alpha_c = \frac{\Delta v^2}{\Delta l} = \underline{0,3 \text{ cm}}$$

C'est une longueur facilement mesurable avec un Michelson.

4) On sait qu'on perd en contraste quand $\delta \approx L_c$

(b) Il n'y a pas de perte de contraste $\Rightarrow L_c$ est gd, il s'agit du LASER

(c) Il n'y a pas de phénomène de coïncidence / anti-coïncidence
 \Rightarrow lumière monochromatique, mais de largeur non nulle car on perd en contraste
 \rightarrow lampe de mercure avec le filtre.

(a) et (d) : il y a phénomène de coïncidence / anti-coïncidence

en (d) les zones d'anti-coïncidence sont plus proches, ce qui implique que les deux reus sont plus éloignés (on voit plus vite la non-monochromaticité)
 \rightarrow doublet de mercure

et (a) doublet de sodium

Exercice 4 - Mesure de l'épaisseur d'un film diélectrique

1) En lame d'air, les deux miroirs sont perpendiculaires (ou parallèles dans le schéma équivalent).

La figure d'interférence est alors composée d'anneaux et localisée à l'infini. On l'observe donc dans le plan focal d'une lentille convergente.

2) Sans le film, on est au contact optique : les interférences sont donc constructives pour toutes les longueurs d'onde, partout. On observe donc un écran blanc.

Avec le film, la différence de marche n'est plus nulle mais elle est constante. Les interférences seront donc constructives pour certaines longueurs d'onde et destructives pour d'autres. S'il y a suffisamment de longueurs d'onde pour lesquelles les interférences sont constructives, l'œil reconnaît le blanc (qu'on appelle d'ordre supérieur).

3) Si la longueur d'onde est absente, les interférences sont destructives :

$$p = \frac{\delta}{\lambda} = k + \frac{1}{2} \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{\frac{1}{\lambda} = \frac{2k+1}{2} \frac{1}{\delta}}$$

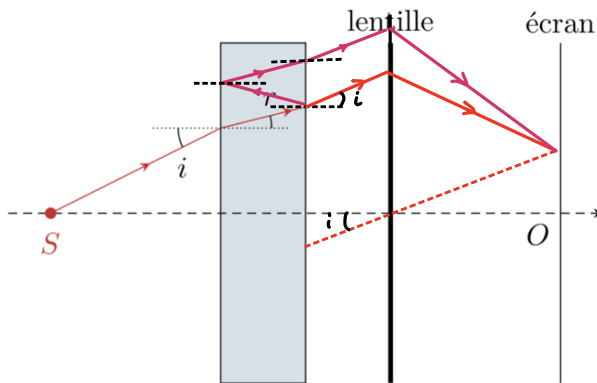
4) Au centre des anneaux, la différence de marche vaut $\delta = 2(n-1)e$

On compte sur le spectre 20 annulations entre $\lambda_{\min} = 400 \text{ nm}$ et $\lambda_{\max} = 800 \text{ nm}$ (on peut faire entre n'importe quelle longueur d'onde annulant l'éclairement, mais il en faut au moins 2)

$$\frac{1}{\lambda_{\max}} = \frac{2k+1}{2} \frac{1}{\delta} \quad \frac{1}{\lambda_{\min}} = \frac{2(k+20)+1}{2} \frac{1}{\delta}$$

$$\frac{1}{\lambda_{\min}} - \frac{1}{\lambda_{\max}} = \frac{40}{4(n-1)e} \Rightarrow \underline{e = 16 \mu\text{m}}$$

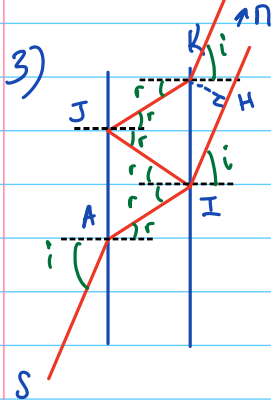
Exercice 5 - lame de verre



1) L'onde qui traverse directement la lame de verre interfère avec l'onde se réfléchissant deux fois dans la lame.

2) Dans un Michelson réglé sur lame d'air, les interférences sont localisées à l'infini.

Par analogie, il faut prendre une lentille convergente et placer l'écran dans le plan focal image.



$$\delta = (SN)_2 - (SN)_1 = \cancel{(SA)} + (AI) + (IS) + (JK) + (KN) - \left[\cancel{(SA)} + \cancel{(AI)} + (IH) + (IN) \right]$$

① "source" + retour inverse de la lumière
 $\Rightarrow (KN) = (IN)$

$$\textcircled{2} IH = IK \sin i$$

$$\textcircled{2} \text{ cf cours Michelson } (IS) + (JK) = \frac{2ne}{\cos r}$$

$$\text{or } IK = 2e \tan r, \text{ donc } IH = 2e \tan r$$

$$\Rightarrow \delta = \frac{2ne}{\cos r} - 2e \tan r \sin i$$

$$\text{or } n \sin r = \sin i$$

$$\text{donc } \delta = \frac{2ne}{\cos r} - 2e \tan r \sin i = \frac{2ne}{\cos r} (1 - \sin^2 r) = \underline{\underline{2ne \cos r}}$$

4) coeurs $\tan i \approx i = \frac{R}{f'}$ $\mu = \frac{\delta}{\lambda} \approx \frac{2ne}{\lambda} \left(1 - \frac{R^2}{2}\right)$

Descartes linearisée $nr = i$

$$\Rightarrow \boxed{\mu = \frac{2ne}{\lambda} \left(1 - \frac{R^2}{2n^2 f'^2}\right)}$$

5) Au centre, $R=0$ et $\mu_{\text{centre}} = \frac{2ne}{\lambda} = 54,5$

μ diminue si R augmente, donc le premier anneau a un ordre $\mu_1 = 54$

On a donc $R_1 = n f' \sqrt{2 - \frac{\mu_1 \lambda}{ne}} = \underline{4,2 \text{ cm}}$.

Exercice 6 - Figure d'interférences

1) On observe des anneaux.

$$\text{On a } \mu_{\text{centre}} = \frac{2e \times \cos 0}{\lambda} = \frac{2 \times 0,5 \cdot 10^{-3}}{500 \cdot 10^{-9}} = 2000$$

Le 1^{er} anneau sombre sera donc à $\mu = 1999,5$ $\left(\begin{array}{l} \mu \downarrow \text{ et } \\ \mu = k + \frac{1}{2} \\ k \in \mathbb{Z} \end{array} \right)$

2) On veut $\mu_{\text{centre}} = 1999,5$ ou $2000,5$

$$\begin{aligned} \text{Cela correspond à } e &= 1999,5 \times \frac{500 \cdot 10^{-9}}{2} & \text{ou } e &= 2000,5 \times \frac{500 \cdot 10^{-9}}{2} \\ &= 4,99875 \cdot 10^{-4} \text{ m} & &= 0,500125 \text{ mm} \\ &= 0,499875 \text{ mm} & &= e + 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ m} \\ &= e - 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ m} \end{aligned}$$

\Rightarrow il faut déplacer le miroir de $12,5 \text{ nm}$

$$\left(\begin{array}{l} \text{+ directement: } \mu_{\text{centre}} = \frac{2e'}{\lambda} = \frac{2e}{\lambda} \pm \frac{1}{2} \\ \text{ce } e' = e \pm \frac{\lambda}{4} = \underline{e \pm 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ m}} \end{array} \right) \text{ ancien } \mu_{\text{centre}}.$$

Cette distance est trop petite pour être mesurable avec l'interféromètre du laboratoire.

3) Si on remplace la source par une source ponctuelle au foyer objet d'une lentille, on aura une source à l'infini avec un unique angle d'incidence $i=0$.

On aura donc un unique angle en sortie de l'interféromètre. Donc uniquement un point lumineux (de luminosité variable).

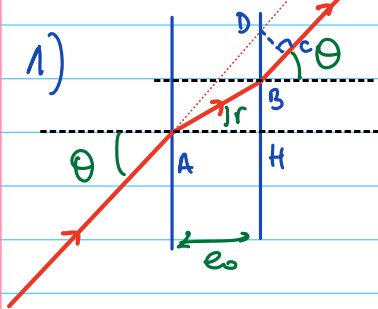
selon la valeur de e) au foyer image de la lentille de verre.

4) On passe en configuration coin d'air : on n'observe donc rien à l'infini. Il faut alors déplacer la lentille peu concave vers le plan des miroirs (et ainsi envoyer la source à l'infini)

Exercice 7

Revue de l'épaisseur d'une lame

Le rayon passe 2 fois dans la lame.



Où a donc

$$\frac{\delta'}{2} = (AB) + (BC) - (AD)_{\text{air}}$$

$$\textcircled{1} (AB) = n \frac{e_0}{\cos \theta}$$

$$\textcircled{2} (AD) = \frac{e_0}{\cos \theta}$$

$$\textcircled{3} BC = BD \sin \theta \quad \text{or} \quad BD = HD - HB \\ = e_0 \tan \theta - e_0 \tan r$$

$$\text{Ainsi} \quad \frac{\delta'}{2} = n \frac{e_0}{\cos \theta} + e_0 (\tan \theta - \tan r) \sin \theta - \frac{e_0}{\cos \theta} \\ = e_0 \left(\frac{n^2 \theta - 1}{\cos \theta} + \frac{n - \sin r \sin \theta}{\cos r} \right)$$

$$\text{or} \quad n \sin r = \sin \theta$$

$$\text{donc} \quad \frac{\delta'}{2} = e_0 \left(\frac{-\cos^2 \theta}{\cos \theta} + n \frac{1 - \sin^2 r}{\cos r} \right) = e_0 \cos^2 r$$

$$\delta' = 2e_0 (n \cos r - \cos \theta)$$

$$\begin{aligned} 2) \quad \delta &= 2e \cos \theta + \delta' \\ &= 2e \left(1 - \frac{\theta^2}{2}\right) + 2e_0 \left(n \left(1 - \frac{r^2}{2}\right) - \left(1 - \frac{\theta^2}{2}\right)\right) \\ &= 2ne_0 \left(1 - \frac{r^2}{2}\right) + 2(e - e_0) \left(1 - \frac{\theta^2}{2}\right) \end{aligned}$$

En faisant le DL de la loi de Descartes: $n r = \theta$

$$\text{Donc} \quad \delta = 2e_0(n-1) + 2e + \theta^2 \left(e_0 \left(1 - \frac{1}{n}\right) - e \right) = \left(1 - \frac{\theta^2}{2}\right) (e_0(n-1) + e)$$

3) Si l'éclairement est uniforme, on a $\delta = 0 \quad \forall \theta$

Donc $e_0(n-1) + e = 0$ et $e_0 = \frac{e}{n-1}$

4) On enlève la lame. Lorsque l'éclairement devient uniforme, on a $e_f = 0$

Et on a $N = \Delta_{\text{centre}} = \frac{2e}{\lambda} - 0$

Donc $e = \frac{\lambda N}{2}$ or $e_0 = \frac{\lambda N}{2(n-1)}$